

APLICAÇÃO DO MODELO DE VEGETAÇÃO DINÂMICA IBIS ÀS CONDIÇÕES DE FLORESTA DE TERRA FIRME NA REGIÃO CENTRAL DA AMAZÔNIA

Lilia M. F. de Assunção^{1,4}, Antonio O. Manzi¹, Niro Higuchi¹, Luiz A. Candido¹, Celso von Randow², Paulo Kubota², Alessandro Araújo³, Ieda Amaral¹ e Flavio Luizão¹.

¹INPA - Manaus – Amazonas - ²INPE – Cachoeira Paulista - São Paulo – ³Embrapa Amazônia Oriental - [4](mailto:assuncao.lilia@gmail.com)assuncao.lilia@gmail.com

RESUMO: É fundamental para os Modelos de Vegetação Dinâmica Global (DVGM na sigla em inglês) representar corretamente o ciclo diário, as variações sazonais e interanuais das trocas de massa e energia entre o ecossistema e a atmosfera, a hidrologia do solo, a fenologia das plantas e a evolução do estoque de carbono do ecossistema. Este estudo dedica-se a validação e calibração do DVGM IBIS (Integrated Biosphere Simulator) para um ecossistema de floresta tropical úmida de terra firme, localizada na Reserva Biológica do Cuieiras do INPA. Foram utilizados nove anos de dados meteorológicos da torre de fluxo K34, como também dados de diâmetro de árvores, medidas de sonda de nêutrons, de liteira fina e foi realizado um ajuste nos parâmetros físicos do solo do modelo. Os resultados indicam que o modelo representa bem o balanço hídrico, assim como o saldo de radiação e o fluxo de calor latente, porém não representa tão bem os fluxos de calor sensível e de CO₂, o índice de área foliar (LAI) e os estoques de liteira fina e biomassa. Os resultados mostram a necessidade de definir um tipo funcional de planta específico para representar a floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia e a inclusão de uma subrotina de eventos severos.

ABSTRACT: It is critical for Dynamic Global Vegetation Models (the acronym DGVMs in English) to correctly represent the diurnal cycle, seasonal and interannual variations of mass and energy exchange between the ecosystem and the atmosphere, soil hydrology, phenology, and evolution of carbon storage in the ecosystem. This study attempts to validate IBIS (Integrated Biosphere Simulator) DGVM for a *terra firme* tropical rainforest ecosystem, located in the INPA - Biological Reserve of Cuieiras. Nine years of data from the K34 flux tower have been used, as well as data from biomass inventory, neutron probes and fine litter. An adjustment was made to soil model physical parameters. Results indicate that the model water balance components were well represented, as well the net radiation and the latent heat, not well represented the sensible heat flux and CO₂, LAI, carbon biomass and fine litter storage. However, the results indicate the need to improve the parameterization of plant functional type representative of the tropical rainforest and the inclusion of a subroutine of severe events.

1 – INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de modelos de vegetação dinâmica globais é necessário para examinar respostas transientes dos ecossistemas terrestres às variações no clima, uso da terra e aumento

de concentração de CO₂ atmosférico (Steffen *et al.*, 1992; Walker, 1994), uma vez que os ecossistemas funcionam de forma conjugada com clima, onde o clima governa fatores importantes que determinam a vegetação potencial de uma região. Entretanto, apesar de toda complexidade de mecanismos físicos, químicos e biológicos introduzidos nos modelos de vegetação dinâmica, eles ainda são muito simplificados quando comparados com a natureza e necessitam de dados observacionais para serem calibrados e validados. Neste contexto, uma série de dados de 9 anos de duração de variáveis micrometeorológicas, fluxos de energia, de evapotranspiração e de gás carbônico (Oliveira, 2010) coletados entre a floresta amazônica de terra firme, localizada na Reserva Biológica do Cuieiras do INPA, 50 km ao norte de Manaus, e a atmosfera foi utilizada na validação do modelo de vegetação dinâmica IBIS (Integrated Biophere Simulator), desenvolvido por Foley *et al.* (1996). Outra comparação importante será dos resultados do modelo IBIS com uma série de dados de conteúdo de água no solo, de inventário florestal realizados a cada ano e coletas de liteira no sítio experimental.

2 – DADOS E MÉTODO DE ANÁLISE

Para a realização do estudo foram utilizados inventários florestais, de medidas de diâmetro de árvores em parcelas permanentes, para cálculo de biomassa, dados micrometeorológicos da torre K34, medidas de água no solo com sonda de nêutrons e dados de liteira fina. Os dados de diâmetro a altura do peito (DAP) para cálculo de biomassa de árvores fornecido para este estudo fazem parte dos projetos Jacaranda e TEAM, localizados na REBIO Cuieiras - INPA. São de 10 anos de dados de dois transectos de 20m x 2500m (5 ha) do projeto Jacaranda, de 1998 à 2008, inventariados a cada dois anos, e dois hectares de 100m x 100m cada, contando com 6 anos de dados, de 2004 à 2010. com medidas anuais do projeto TEAM. Os dados de micrometeorológicos são da torre K34 do projeto LBA/INPA, a saber: Saldo de radiação (Rn), Radiação solar incidente (Sin), Radiação de onda longa incidente (Lin), Temperatura do ar (Ta) e Umidade Relativa (Ur) do ar; Velocidade horizontal do vento (ua), Precipitação (P), Fluxos de energia (calor sensível e momentum), de vapor de água (calor latente) e de gás carbônico. O conteúdo de água no solo foi medido com sonda de nêutrons próximo à torre K34 até uma profundidade de 4,8 m (Cuartas, 2008). As coletas de liteira fina (as folhas, flores, frutos, material lenhoso até 2 cm de diâmetro e resíduos) próximos à área da torre K34 foram feitas quinzenais de maio de 2004 à outubro de 2008 pelo projeto TEAM, com 25 coletores de 50cm x 50cm. Os dados micrometeorológicos como precipitação (P), velocidade do vento (ua), radiação solar incidente (Sin), radiação de onda longa incidente (Lin), temperatura do ar (Ta) e umidade relativa (Ur) foram utilizados para forçar o modelo, enquanto que dados de saldo de radiação (Rn), fluxos turbulentos de calor latente, calor sensível, dióxido de carbono, como também dados de diâmetro de árvores, água no solo e liteira foram utilizados na validação do modelo. Para melhor representar o conteúdo de água no solo do modelo IBIS, foi realizado um ajuste nos

parâmetros físicos do solo do modelo, tais como porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha e condutividade hidráulica saturada. A qualidade dos resultados da simulação é aferida com a comparação com os dados observados, avaliando-se o erro médio quadrático (RMSE) e o desvio padrão (s).

3 – RESULTADOS

As componentes do balanço de água do modelo ficaram bem representadas. Em torno de 50% dos 2600 mm de precipitação média anual retornou à atmosfera por evapotranspiração e aproximadamente 49% drenaram na base da camada de solo ou escoaram superficialmente. O conteúdo de água no solo não foi bem simulado para cada camada individual. O modelo superestimou as mais próximas da superfície e subestimou as mais profundas. Todavia, a integração das cinco primeiras camadas, até 4,8 m, foi bem representada pelo modelo (Figura 1), apresentando um coeficiente de determinação $r^2 = 0,80$. Observa-se na figura 2 o saldo de radiação, fluxo de calor latente e sensível de valores simulados e observados. O modelo subestimou o saldo de radiação na maioria dos meses, por conta de uma superestimativa do albedo em torno de 2% e da temperatura da superfície, mas representou bem o fluxo de calor latente ($r^2=0,74$). Devido à subestimativa do saldo de radiação, o fluxo de calor sensível ($r^2=0,55$) também foi subestimado. A tabela 1 mostra os fluxos de CO₂ (GPP, Reco, NEE), que apresentaram as magnitudes esperadas, mas nota-se que o modelo superestima a Reco em torno de 8% e que não há concordância entre as duas fontes de resultados observados para comparação com o GPP simulado. Enquanto o valor médio simulado de NEE pelo modelo subestima as observações em 74%, ele superestima o valor apresentado por Malhi *et al.* (2009) em 113%. O modelo subestimou a variação sazonal do fluxo de CO₂ ($r^2=0,54$ para NEE, por exemplo). No entanto, as incertezas nos dados de validação não foram avaliadas para possíveis análises de viés. O modelo superestimou LAI e o estoque de liteira fina em aproximadamente 50% e 100%, respectivamente, porém subestimou o estoque de carbono da biomassa em torno de 30 tC/ha. A tabela 2 mostra os incrementos anuais de carbono da biomassa dos dados observados e simulados. Observa-se que o modelo também não reproduziu a magnitude de aumento de biomassa observada em parcelas permanentes de inventários florestais. É importante ressaltar que as metodologias não são diretamente comparáveis, uma vez que no monitoramento de biomassa, o carbono das árvores mortas entre dois inventários subsequentes é considerado perdido, mas na prática pode levar vários anos ou várias décadas para decompor totalmente.

4 – CONCLUSÕES

O modelo reproduziu satisfatoriamente o comportamento do balanço hídrico, apresentou também resultados satisfatórios com respeito ao conteúdo total, variabilidade sazonal e interanual de água no solo. Quanto às componentes do balanço de radiação, o modelo

superestimou a radiação solar refletida e subestimou o saldo de radiação. Com exceção de alguns anos em que o modelo subestimou o fluxo de calor sensível durante a estação seca, o modelo reproduziu satisfatoriamente a variação sazonal e interanual dos fluxos de calor latente e sensível. O modelo comportou-se como esperado com respeito aos fluxos de CO₂ entre a floresta e a atmosfera, em termos de magnitude de GPP, Reco e NEE, durante o período mais chuvoso, porém apresentou tendência oposta à observação no período da estação seca. Isto é, enquanto os dados estimados a partir das medições de fluxos de CO₂ na torre K34 mostram diminuição de fotossíntese e respiração na estação seca, o modelo calcula aumento dessas variáveis. O modelo superestimou o índice de área foliar (LAI) e o estoque de liteira fina, além de não reproduzir seus ciclos sazonais. Apesar da análise ainda necessitar de aprimoramentos, como mencionado acima, o modelo também não foi capaz de reproduzir a magnitude do incremento anual de biomassa dos inventários. O modelo necessita de uma subrotina de eventos severos que possa simular os eventos (tempestade e seca severas que causaram grande mortalidade de árvores em 2005). Os resultados indicam ainda necessidade de definição de um tipo funcional de planta representativo da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia.

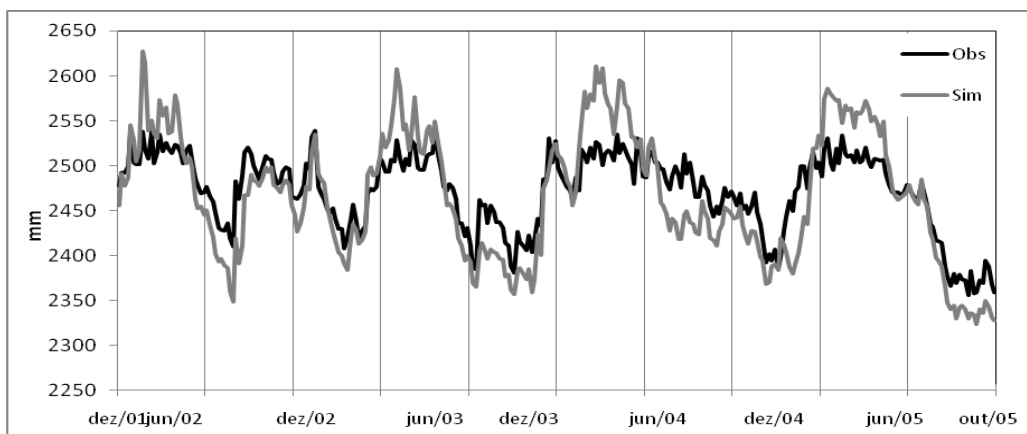


Figura 1. Conteúdo de água no solo integrado nas 5 primeiras camadas com 4,8 m de profundidade.

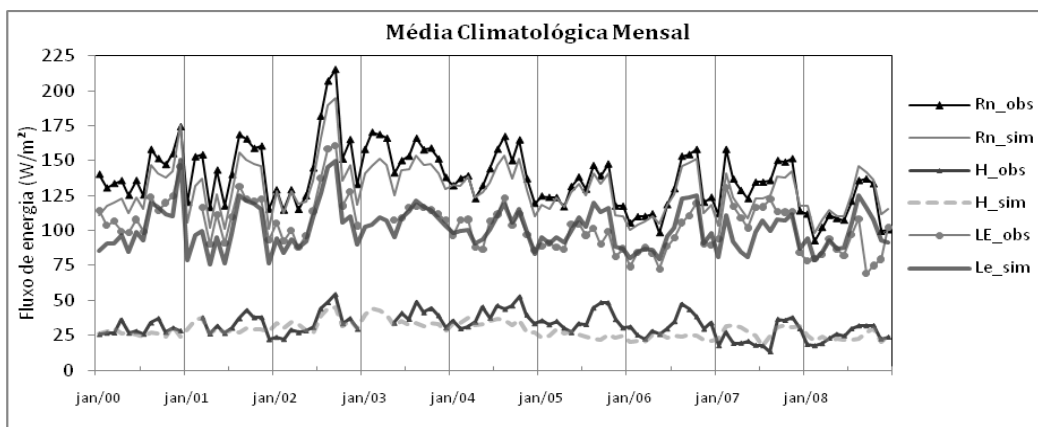


Figura 2. Média mensal dos dados observados da torre K34 com os simulado pelo modelo de calor sensível, calor latente e saldo de energia

Tabela 1 . Média Anual da Respiração autotrófica, heterotrófica e do ecossistema, produtividade primária bruta (GPP) e troca líquida de CO₂ no ecossistema (NEE) (t C/ha/ano).

t C/ha/ano	Simulado	Observado K34	Manaus Malhi <i>et al.</i> (2009)
R _{autotrófica}	21,57 ± 0,37		19,8 ± 4,6
R _{heterotrófica}	10,32 ± 0,24		9,6 ± 1,2
Reco	31,89 ± 0,60	29,43 ± 3,1	29,3 ± 4,7
GPP	33,17 ± 0,87	34,17 ± 3,0	29,9 ± 4,8
NEE	-1,28 ± 0,71	-4,85 ± 2,2	-0,6

Tabela 2 . GPP, NPP, estoque e incremento anual médio de carbono da floresta, valores simulados pelo modelo IBIS e dados observados dos projetos TEAM e Jacaranda

Ano	Estoque em t C/ha - Incremento em t C/ha/ano					
	Modelo IBIS			Incremento anual médio		
	GPP	NPP	Estoque C	IBIS	TEAM	Jacaranda
2000	34,2	12,7	121,6			-0,03
2001	32,4	10,8	120,8	-0,8		-0,52
2002	33,5	11,7	121,0	0,2		-0,52
2003	34,6	12,4	121,7	0,7		1,41
2004	32,7	10,9	121,0	-0,7		1,41
2005	32,8	11,6	121,1	0,1	-3,06	-0,98
2006	32,6	11,5	121,1	0,0	-1,74	-0,98
2007	33,2	11,7	121,2	0,1	0,94	1,34
2008	32,0	10,9	121,4	0,2	0,57	1,34
Média	33,1	11,6	121,2	0,0	-0,8	0,3
Des. Pad.	0,9	0,7	0,3	0,5	1,9	1,1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Foley, J. A.; Prentice, I. C.; Ramankutty, N.; Levis, S.; Pollard, D.; Sitch, S.; Haxeltine, A. 1999. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance and vegetation dynamics. **Global Biogeochemical Cycles**, v.10.603-628 pp.
- Walker, B. 1994. Landscape to regional-scale responses of terrestrial ecosystems to global change. **Ambio** 23:67-73.
- Steffen, W. L.; Walker, B. H.; Ingram, J. S.; Koch, G.W. 1992. Global changes and terrestrial ecosystems: The operational plan, Global Change Rep. 21, 95 pp., Int. **Geosphere-Biosphere Programme**, Stockholm.
- Oliveira, M. B. L. 2010. **Estudos das trocas de energia sobre a floresta Amazônica**. Tese de Doutorado em Ciências de Floresta Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 144pp.
- Malhi, Y.; Aragão, L. E. O. C.; Metcalfe, D. B.; Paiva, R.; Quesada, C. A.; Almeida, S.; Anderson, L.; Brando, P.; Chambers, J. Q.; Costa, A. C. L.; Hutira, L. R.; Oliveira, P.; Patino, S.; Pyle, E. H.; Robertson, A. L.; Teixeira, L. M. 2009. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. **Global Change Biology**, 15, 1255-1274 pp